

국민건강영양조사 기반 실내공기질조사 모형개발

질병관리청 건강영양조사분석과 김선자, 김연정, 황윤형, 오경원*
서울대학교 보건대학원 박지영, 이기영*

*교신저자 : kwoh27@korea.kr, 043-719-7460
cleanair@snu.ac.kr, 02-880-2701

초 록

본 연구는 국민건강영양조사 체계에 적용 가능한 가정 내 실내공기질조사 모형을 개발하기 위해 수행하였다. 국민건강영양조사는 1998년부터 우리나라의 건강과 영양수준을 파악하기 위해 질병관리청에서 약 10,000명을 대상으로 매년 실시하는 국가 단위 조사이다. 실내공기질 측정항목은 국·내외에서 수행된 연구와 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」에 규정한 기준을 고려하여 PM₁₀, PM_{2.5}, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총부유세균, 일산화탄소(실내공기질 유지기준 항목), 이산화질소, 라돈, 총휘발성유기화합물, 곰팡이(권고기준 항목)로 선정하였다. 설문조사 항목은 실내공기질과 관련된 주택 관련요인, 환기 등 실내공기질 관리요인, 음식조리, 방향제 사용 등의 거주자의 행동관련 요인, 실외 영향요인 등 30개 문항을 개발하였다. 선정된 측정 및 설문항목에 관해 조사 적용 가능성을 검토하기 위해 국민건강영양조사 대상 가구 중 60가구에 대한 사전조사를 실시하였다. 항목별 측정 결과, 이산화탄소(35%), 총휘발성유기화합물(25%), 부유곰팡이(13%), 라돈(13%)의 순으로 실내공기질 유지·권고기준을 초과하였고, PM10, 총부유세균, 일산화탄소, 이산화질소는 모든 가구에서 양호한 수준이었다. 사전조사 결과, 측정방법의 정확도 및 용이성, 국내외 조사와의 비교 등을 고려하여 실내공기질 분과 자문회의를 통해 4개 측정항목(PM_{2.5}, 총휘발성유기화합물, 폼알데하이드, 이산화탄소)과 30개 설문문항을 확정하였다. 개발한 모형은 우리 국민의 실내공기질 노출 수준 평가를 위해 2020년 7월부터 국민건강영양조사에 적용하여 2021년 10월까지 1,200가구를 대상으로 조사를 진행하고 있다.

주요 검색어 : 국민건강영양조사, 실내공기질조사, 모형개발

들어가는 말

실내공간은 오염된 외부공기가 유입되거나 건축자재나 조리를 포함한 구성원의 다양한 활동을 통해 오염물질이 발생하며 환기가 적절하게 이루어지지 않을 경우, 오염물질이 축적되어 농도가 높아질 수 있다. 실내공간은 사용목적에 따라 주거공간, 다중이용시설 등으로 구분할 수 있으며 환경부는 다중이용시설, 공동주택 및 대중교통차량에 대해 실내공기질 관리법으로 관리하고 있다[1]. 공동주택에서의 관리기준은 신축 공동주택에 대해서만 입주 전에 실내공기질을 측정하고 결과를 주민에게 공고하도록 의무화하고 있고, 실제 사람들이 생활하고 있는 공간에 대해서는

적용되지 않는다. 국립환경과학원의 자료에 따르면 우리나라의 경우 주택 실내에서 보내는 시간이 평균 15.9시간으로 하루 중 66%의 시간을 주택에서 보내고 주택을 포함한 실내환경에서 20.7시간(86%)을 지내는 것으로 조사되었다[2]. 특히 실내공기오염에 취약한 건강민감계층은 더 많은 시간을 집에서 보내고 있기 때문에 가정 내 실내공기질 수준에 대한 파악과 관리 방안 마련이 필요할 수 있다.

대표적인 실내공기질 오염물질은 미세먼지, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총부유세균, 라돈, 휘발성유기화합물 등이 있다. 특히 미세먼지는 세계보건기구(World Health Organization, WHO) 산하 국제암연구기관(International Agency for Research on Cancer)에서

암을 일으키는 1급 발암물질로 지정되었고[3], 많은 역학연구에서도 미세먼지 노출이 심혈관계 질환 및 호흡기계 질환의 유병 및 사망과 연관성이 있다는 것이 보고되고 있다[4,5]. WHO에서도 실내공기질이 건강과 복지에 중요한 결정요인임을 인식하고 2000년 '건강한 실내공기질 권리(The Right to Healthy Indoor Air)'란 표어를 제안하며 그 중요성을 강조한 바 있다.

건강보험심사평가원 자료에 의하면 환경성질환의 진료인원과 진료비는 매년 증가하고 있으며[6,7], 전문가들은 환경성질환의 가장 큰 원인을 실내공기 오염으로 추정하고 있다[8-10] 최근 들어 환경변화에 따른 미세먼지 수준이 높아짐에 따라 관련 정책 개발을 위한 근거 자료의 필요성이 대두되었다. 이에 본 연구는 국가 단위의 실내공기질 수준 및 관련요인 파악을 목적으로 국민건강영양조사에 적용 가능한 실내공기질 조사체계 개발을 위해 수행하였다.

몸 말

1. 연구방법

가. 실내공기오염물질 측정항목 선정

조사 측정항목 선정을 위해 국내에서 규제되고 있는 실내공기질 오염요인을 파악하고, 국립환경과학원에서 조사한 주택유형별 실내공기질조사 결과를 분석하여[11-13] 국내 주택 특성을 반영한 유해요인 종류와 측정결과를 검토하였다. 실내공기질 오염물질들의 측정 및 분석을 위한 공정시험법과 가정 내 실내공기질 측정이 가능한 시험법을 검토하여 「다중이용시설 등의 실내공기질 관리법」에 규정한 실내공기질 유지기준 6개 항목(PM_{10} , $PM_{2.5}$, 이산화탄소, 폼알데하이드, 총부유세균, 일산화탄소)과 권고기준 4개 항목(이산화질소, 라돈, 총휘발성유기화합물, 곰팡이) 모두를 측정항목으로 선정하였다(표 1).

나. 설문문항 개발

실내공기질에 영향을 주는 요인을 파악하기 위해 ① 실외영향요인, ② 입주 시기, 준공시기, 바닥 재질 등 주택관련요인, ③ 청소, 환기 등의 실내공기질 관리요인, ④ 음식소리, 방향제사용, 가습기 사용 등 거주자의 행동관련 요인으로 구분하여, 국내·외 관련 연구에서 활용된 설문과 실내공기질 관련요인에 관한 문헌조사를 실시하였다. 수집된 자료를 기초로 전문가, 일반 국민, 주관연구기관을 대상으로 예비 설문조사 및 의견수렴을

표 1. 가정 실내공기질 측정조사의 측정항목과 방법

측정항목	기준치 ^a	측정 및 분석방법 [*]		측정시간	비고
PM_{10} (미세먼지)	75 $\mu g/m^3$	Minivol	중량법	24시간	다중이용시설 유지기준 ('나'군 시설)
$PM_{2.5}$ (초미세먼지)	35 $\mu g/m^3$				
일산화탄소(CO)	10 ppm	가스분석기	비분산 적외선법	1시간	
이산화탄소(CO ₂)	1,000 ppm				
폼알데하이드(HCHO)	80 $\mu g/m^3$	2,4 DNPH 카트리지법	LC		
총휘발성유기화합물(TVOC)	400 $\mu g/m^3$	고체열탈착 흡착법	GC/MS		
총부유세균	800 CFU/m ³	총돌법	계수법		
부유곰팡이	500 CFU/m ³	총돌법	계수법		1시간
이산화질소(NO ₂)	0.05 ppm	가스분석기	화학발광법		
라돈	148 Bq/m ³	연속 모니터링	알파비적검출법	90일	

* 실내공기질공정시험기준(환경부 고시 제2017-11호).

^a 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 의한 실내공기질 유지· 권고 기준



그림 1. 실내공기질조사 수행 흐름도

통해 주택관련요인(12문항), 행동관련요인(9문항), 실내공기질 관리요인(4문항), 실외영향요인(1문항), 생활패턴(2문항), 공기질에 관한 인식(2문항) 등 총 30문항의 설문을 개발하였다.

다. 사전조사 수행

개발한 실내공기질 측정항목 및 방법, 설문항목에 관한 국민건강영양조사 체계 내 적용 가능성을 검토하기 위해 사전조사를 실시하였다. 첫 단계로 2019년 12월부터 2020년 5월까지 60가구를 목표로 국민건강영양조사 검진조사수행팀을 통해 조사대상으로부터 1차 조사동의를 구득하였다. 이후 측정조사원이 대상자의 2차 조사동의(가구방문 동의 포함)를 구득 후 협의한 일정에 따라 대상자의 가구를 방문하여 측정조사 및 면접에 의한 설문조사를 실시하였다. 1차 조사동의를 2차 조사동의 구득 시 거부 가능성을 고려하여 목표 가구보다 약 20% 초과하여 구득하였고, 조사 참여율을 고려하여 1차 조사동의 가구 수를 조정하였다.

실내공기질 측정조사는 10개 측정항목으로 구성하여 환경부 공정시험법(환경부 고시 제2017-11호)에 따라 분석하였다(표 1). 미세먼지(PM_{10} , $PM_{2.5}$)는 24시간 시료채취 후 중량법을 이용하였고, 라돈은 검출기를 설치하여 90일 동안 시료 채취 후 수거하여 분석하였다. 폼알데하이드와 총휘발성유기화합물, 부유곰팡이, 총부유세균은 1시간 시료 채취 후 분석하였고, 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소는 직독식으로 현장에서 1시간 동안 모니터링한 측정 결과를 사용하였다. 실내공기질조사를 위한 가정방문은 총 3회로 첫 방문에서 설문조사와 미세먼지 라돈 측정기를 설치하고 7가지 항목을 측정한 후, 다음날 방문하여

24시간 시료 채취가 끝난 미세먼지 측정기를 수거하고 90일 뒤에 방문하여 라돈 측정기를 수거하였다(그림 1). 실내공기질조사 수행에 대한 IRB 승인(서울대 IRB No. 1908/001-018) 후 사전조사를 수행하였다.

2. 연구결과

가. 조사 대상자 동의

2019년 12월부터 2020년 5월까지 60가구에 대한 사전조사를 완료하였다. 1차 조사동의를 구득한 가구는 82가구였으나, 실제 방문 일정을 확인하는 과정 중에 수행한 2차 조사동의 구득 시 22가구는 단순 변심, 개인 일정 및 측정 소요시간 부담 등의 이유로 조사 참여를 거부하여 최종 조사 참여율은 73.2% 이었다.

나. 측정 조사 항목 결과

측정 항목별 결과는 표 2에 제시하였다. 실내공기질 기준에 따라 측정치가 기준치를 초과하는 경우를 '우려', 80~100%인 경우는 '보통', 기준치의 80% 미만의 농도를 '양호'로 정하고, 측정항목별 실내공기질 상태를 파악하였다(표 2).

미세먼지 $PM_{2.5}$ 의 기하평균 농도는 $8.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GSD 2.0, 1.1~32.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM_{10} 은 $15.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GSD 1.8, 3.1~48.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다. $PM_{2.5}$ 와 PM_{10} 모두 다중이용시설 실내공기질 유지기준을 초과한 '우려' 가구는 없었으나 2가구의 $PM_{2.5}$ 는 '보통' 이었다. 폼알데하이드는 기하평균 농도가 $22.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (GSD 1.8, 7.9~71.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었고, 모든

표 2. 실내공기질 측정 조사 결과

측정항목	GM (GSD)	Min~Max	Q1	Median	Q3	기준치 ^a	측정항목 판정 결과		
							양호 ^b	보통 ^c	우려 ^d
PM ₁₀ (μg/m ³)	15.2 (1.8)	3.1~48.4	9.6	16.0	22.6	75 μg/m ³ 이하	100%	0%	0%
PM _{2.5} (μg/m ³)	8.2 (2.0)	1.1~32.5	5.9	9.9	12.4	35 μg/m ³ 이하	97%	3%	0%
폼알데하이드 (μg/m ³)	22.9 (1.8)	7.9~71.5	13.9	20.5	36.6	80 μg/m ³ 이하	95%	5%	0%
총휘발성유기화합물 (μg/m ³)	188.7 (2.9)	16.0~2,344.9	85.6	223.6	399.4	400 μg/m ³ 이하	68%	7%	25%
총부유세균 (CFU/m ³)	56 (2.5)	9.0~365	32	47	105	800CFU/m ³ 이하	100%	0%	0%
부유곰팡이 (CFU/m ³)	129 (3.0)	11~1737	65	119	211	500CFU/m ³ 이하	83%	3%	13%
일산화탄소 (ppm)	0.9 (1.2)	0.5~1.4	0.8	0.9	1.1	10 ppm 이하	100%	0%	0%
이산화탄소 (ppm)	889 (1.4)	384~2,465	699	880	1064	1000 ppm 이하	40%	25%	35%
이산화질소 (ppm)	0.014 (1.5)	0.005~0.03	0.01	0.013	0.018	0.05 ppm 이하	100%	0%	0%
라돈 (Bq/m ³) ^e	77 (1.7)	27~235	53	70	105	148 Bq/m ³ 이하	80%	9%	11%

^a 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에 의한 실내공기질 유지·권고 기준; ^b 측정치가 기준치 80% 미만 농도; ^c 측정치가 기준치의 80% ~100% 농도; ^d 측정치가 기준치를 초과하는 경우; ^e 측정 가구 60개 중 56개(3개 분실, 1개 중도회수) 분석 결과

가구가 기준치를 초과하지는 않았으나 3가구는 기준치의 80%를 넘는 '보통' 이었다. 총휘발성유기화합물은 기하평균 농도가 189 μg/m³(GSD 2.9, 16~2,345 μg/m³)이었고, 60가구 중 15가구(25%)가 기준치를 초과하였다. 실내 환기의 척도로 사용되는 이산화탄소 기하평균 농도는 889 ppm(GSD 1.4, 384~2,465 ppm)이었고 21가구(35%)가 다중이용시설 유지기준인 1,000 ppm을 초과하였다. 라돈은 60가구 중 56가구(3가구 분실, 1가구 측정거부)를 측정한 결과이며, 기하평균 농도는 77 Bq/m³(GSD 1.7, 27~235 Bq/m³)로 실내공기질 기준인 148 Bq/m³을 초과하는 경우는 56가구 중 6가구(10.5%)이었고, 5가구(8.9%)가 '보통' 이었다. 일산화탄소와 이산화질소는 기준치에 비해 낮은 수준이었고 가구간 변이도 모든 측정항목 중에서 낮았다(GSD 1.2~1.5). 총부유세균 기하평균 농도는 56 CFU/m³(GSD 2.5, 9~365 CFU/m³)이었고 다중이용시설(보육시설, 의료시설, 어린이집) 유지기준을 초과하는 가구는 없었다. 부유곰팡이류의 기하평균 농도는 129 CFU/m³(GSD 3.0, 11~1,737 CFU/m³)이었고, 8가구(13.3%)가 다중이용시설 권고기준을 초과하였다.

다. 설문조사 결과

설문조사결과 60가구의 주택 형태는 아파트가 28가구(47%), 단독주택 24가구(40%), 연립/다세대는 8가구(13%) 순이었다. 건축 연수는 20년 이상인 경우가 25가구(42%)로 가장 많았고 10년 이하인 주택은 15가구(35%)이었다.

최근 6개월간 주택 수리는 7가구(12%), 새 가구를 구입한 경우는 10가구(17%), 새 가전을 구입한 경우는 12가구(20%)이었다. 결로현상은 전체 60가구 중 14가구(23%)이었고, 14가구(23%)가 주택 내 곰팡이가 발생했다고 응답하였다. 공기청정기는 23가구(38%)가 보유하고 있었고, 가습기를 보유한 가구는 전체 60가구 중 14가구(23%)이며, 가습기는 겨울(93%), 봄·가을(43%), 여름(0%)의 순으로 사용하여 계절적 차이가 큰 것으로 나타났다. 음식조리 시 취사 연료는 대부분 가스(46가구)였고, 자연환기의 방법을 가장 많이 사용하고 있었다(>80%).

표 3. 설문문항 구성

구분	문항수	문항 내용
주택 관련 요인	13	입주 시기, 집수리 유무, 새 가구/대형가전제품 구입유무, 겨울철 결로현상 유무 조사원 관찰 문항: 건물 층수 및 집 층수, 주택 전용 면적, 주택 준공시기, 바닥 재질, 벽 재질, 거실과 주방 문 분리 유무, 누수유무(바닥, 천장, 벽 등), 곰팡이 발생 유무
행동 관련 요인	9	반려동물(유무, 종류), 드라이클리닝 유무, 난방형태 및 연료, 음식 조리(조리유무, 사용연료, 횟수 시간, 환기), 화장실 환기장치 설치 유무 및 사용 빈도, 해충 방제약/방향제 사용 유무, 가습기/에어컨 보유 유무(사용빈도, 세척주기)
실내공기질 관리 요인	4	청소(청소유무, 시간, 방법), 습기 관리 방법, 환기(환기유무, 방법, 주기 시간), 공기청정기 보유유무
실외 영향 요인	1	조사원 관찰 문항: 주택 용도지역 구분
생활패턴	1	하루에 집안에서 머무는 시간
공기 질에 관한 인식	2	집 실내공기질 만족도, 집 밖 공기질 만족도

라. 조사항목별 측정 결과와 실내공기질 영향요인 분석결과

조사항목별 측정결과와 실내공기질 영향요인을 분석한 결과, 공기청정기를 보유한 가구의 PM_{2.5} 농도는 보유하지 않은 가구의 농도보다 유의하게 낮았고($p=0.03$), 화장실 환기장치가 있는 가구에서 사용 빈도가 높을수록 PM_{2.5}의 농도가 유의하게 낮았다($p=0.02$). 폼알데하이드는 최근 6개월 내 새 가전을 구입한 가구가 높은 농도를 보였고($p=0.06$), 총휘발성유기화합물은 결로현상이 있는 가구($p<0.05$), 최근 6개월 내 새 가구를 구입한 경우에서 높은 농도를 보였다($p=0.06$).

마. 국민건강영양조사 기반의 실내공기질조사 최종 모형

최종 모형은 사전조사 측정 결과 우려 판정이 있었던 항목, 다중이용시설 실내공기질 관리 유지기준 항목, 국내·외 유사 조사와의 비교 및 차별성, 가정 내 측정 용이성 등을 고려하여 실내공기질 분과 자문회의를 통해 확정하였다. 그 결과, 측정항목은 PM_{2.5}, 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물, 이산화탄소였고 설문은 아래 표 3에 제시한 바와 같다. 설문의 경우 사전조사의 응답 분포 및 특이사항, 자문의견을 반영하여 일부 설문의 응답보기 구간을

변경하였고, 건물 내 거주 층, 주택면적, 가구원의 머무르는 시간 등의 문항은 추가하였다. 또한 면접 설문방법을 유지하되 조사원이 관찰하여 응답이 가능한 항목은 관찰하여 기입하는 방법으로 변경하였다. 조사원에 따른 설문 응답의 차이가 없도록 용어, 기준 등을 명확히 하는 등 설문조사 상세지침을 개발하였다.

맺는 말

미세먼지 증가로 인한 실외 공기 질 저하는 실내 공기 질 저하와 관련이 있고, 궁극적으로 실내 거주자의 건강과도 관련성이 보고되고 있어 실내 공기 질에 대한 진단 및 관리 필요성이 대두되고 있다. 이에 본 연구에서는 2009년에 국민건강영양조사 기반의 가정 실내환경 및 알레르기질환 조사모형 개발 연구의 후속으로 이후 10년간의 환경 변화를 고려한 국가단위 건강조사에 적합한 가정 내 실내공기질 조사 모형을 개발하였다[14].

모형 개발을 위해 환경부가 다중이용시설에 적용하고 있는 모든 실내공기오염물질항목을 우선 선정하고 공기질에 영향을 주는 요인 파악에 필요한 설문문항을 개발하였고, 선정된 조사항목과 설문문항을 검증보완하기 위해 사전조사를 수행하였다.

공정시험법에 의한 사전조사 결과, 실내공기질 기준치를 초과하는 항목(이산화탄소, 총휘발성유기화합물 등), 국내·외

유사 조사와의 비교 및 차별성, 대단위 조사에 적용 가능성 등을 고려하여 4개 항목(PM_{2.5}, 폼알데하이드, 총휘발성유기화합물과 이산화탄소) 및 관련 설문항목을 확정하였다.

개발된 모형은 2020년 7월부터 2021년 10월까지 국민건강영양조사 기반의 실내공기질조사에 적용하여 1,200가구에 대한 자료 수집을 목표로 진행하고 있다. 이를 통해 우리나라 가정 실내공기질 노출 수준에 관한 국가 단위 통계 산출 및 관련요인 제언 등 정책 수립에 필요한 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다.

① 이전에 알려진 내용은?

2009년 국민건강영양조사(검진조사분야)기반의 가정 실내환경 및 알레르기질환 조사모형 개발을 통해 국민건강영양조사 체계 내에서 알레르기질환과 연관성이 있는 항목 위주의 조사 모형을 개발하였다. 최근 들어 미세먼지 수준이 높아지고, 실내공기질에 대한 관심이 증가되어 2009년 이후 10년간의 환경변화를 반영한 국민건강영양조사 기반 실내공기질조사 모형개발이 요구되는 상황이었다.

② 새로이 알게 된 내용은?

국민건강영양조사 체계에서 적용 가능한 가정 내 실내 공기질조사 모형을 개발하였다.

③ 시사점은?

국민건강영양조사를 기반으로 전국 규모 조사에 적용하여 우리나라 국민의 실내공기질 수준을 모니터링하고 관련 영향 요인을 파악할 수 있을 것이다.

- Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis, 2014; 69:660-665
5. Lu F., D. Xu, Y. Cheng, S. Dong, C. Guo, X. Jiang, X. Zheng, Systematic review and meta-analysis of the adverse health effects of ambient PM_{2.5} and PM₁₀ pollution in the Chinese population, Environmental Research, 2015;136:196-204
 6. 보건복지부, 통계로 보는 사회보장 2017, 2017.
 7. 이풍훈, 최근 5년간 '환경성질환' 진료경향 분석, HIRA(Health Insurance Review & Assessment Service) 정책동향, 2016;10(1):59-65.
 8. 이동현, 정진도, 주거환경 내의 Total Volatile Organic Compounds (TVOC)노출수준과 환경성질환과의 관련성. 한국환경보건학회지, 2011;37(3):193-200.
 9. 김진용, 실내공기 오염으로 인한 건강영향, KONETIC Report 2014-12호, 2014
 10. Rovira R., N. Roig, M. Nadal, M. Schuhmacher, J. L. Domingo, Human health risks of formaldehyde indoor levels: An issue of concern, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2016;51(4):357-363.
 11. 국립환경과학원, 주거공간별 실내공기질 관리 방안 연구(I) - 아파트의 실내 오염물질 평가와 건강영향 연구, 2009.
 12. 국립환경과학원, 주거공간별 실내공기질 관리 방안 연구(II) - 단독 및 다세대/연립주택의 실내 오염물질 평가와 건강영향 연구, 2010.
 13. 국립환경과학원, 주거공간별 실내공기질 관리 방안 연구(III), 2011.
 14. 국민건강영양조사(검진조사분야) 기반의 가정 실내환경 및 알레르기 질환 조사 모형개발, 2009.

이 글은 2019년 질병관리청(구 질병관리본부)에서 수행한 「국민건강영양조사 기반 실내공기질조사 모형 개발 및 사전조사」 연구결과의 주요내용을 요약·정리한 것입니다.

참고문헌

1. 실내공기질 관리법, 법률 제17326호, 2020.
2. 국립환경과학원, 한국인의 노출계수 핸드북, 2019.
3. International Agency for Research on Cancer, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: vol. 109, Outdoor Air Pollution, Lyon, France: IARC; 2014.
4. Atkins R. W., S. Kang, H. R. Anderson, I. C. Mills, H. A. Walton,

Abstract

Development of the indoor air quality monitoring model based on Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES)

Kim Sun-Ja, Kim Yeonjung, Hwang Yunhyung, Oh Kyungwon

Division of Health and Nutrition Survey and Analysis, Korea Disease Control and Prevention Agency, KDCA

Park Jiyoung

Institute of Health and Environment Seoul National University

Lee Kiyoung

Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University

This study was conducted to develop a residential indoor air quality (IAQ) monitoring model that can be applied to the Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) system; a national cross-sectional surveillance system that has been assessing the health and nutritional status of Koreans since 1998. The KNHANES is conducted by the Korea Disease Control and Prevention Agency (KDCA) and approximately 10,000 persons participate in the survey. The IAQ measurement items selected were PM10, PM2.5, carbon dioxide, formaldehyde, total suspended bacteria, carbon monoxide (IAQ maintenance criteria of the Indoor Air Quality Control Act), nitrogen dioxide, radon, total volatile compounds (TVOC), and fungi (IAQ recommendation criteria) in consideration of domestic and international studies of IAQ. The survey items included 30 questions, including housing-related factors, IAQ management factors such as ventilation, resident behavioral factors such as cooking and the use of air fresheners, and outdoor influencing factors. A preliminary survey was conducted on 60 households among the households subject to KNHANES to examine the applicability of the IAQ monitoring model. The preliminary survey showed that carbon dioxide (35%), TVOC (25%), fungi (13%), and radon (13%) exceeded the IAQ criteria, and PM10, total suspended bacteria, carbon monoxide, and nitrogen dioxide were acceptable for all households. Based on the accuracy and ease of measurement in comparison with domestic and international surveys and the results of the preliminary investigation, four measurements (PM2.5, TVOC, formaldehyde, and carbon dioxide) and 30 survey items were selected by the study's IAQ subcommittee. To characterize the IAQ of Korean homes, this study's model was applied to 1,200 KNHANES households from July 2020 to October 2021.

Keywords : Korea National Health and Nutrition Examination Survey(KNHANES), Indoor air quality measurement, developing model

Table 1. Monitoring methods of indoor air quality (IAQ) in Korean residential households

Measurement items	Reference value	Sampling and analysis*		Sampling time	Note		
PM ₁₀	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Minivol	Gravimetry	24 hrs	Public use facility's maintenance criteria ('Na' category facilities)		
PM _{2.5}	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$						
Carbon Monoxide (CO)	10 ppm	Gas analyzer	Non-dispersive infrared spectrometer	1 hr			
Carbon Dioxide (CO ₂)	1,000 ppm						
Formaldehyde (HCHO)	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	2,4 DNPH Cartridge	LC				
Total Volatile Organic Compounds (TVOC)	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sampling tubes for solid thermal desorption	GC/MS				
Total Suspended Bacteria	800 CFU/m ³	Impactor	Counting				
Fungi	500 CFU/m ³	Impactor	Counting				
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	0.05 ppm	Gas analyzer	Chemiluminescence			1 hr	Public use facility's recommendation criteria ('Na' category facilities)
Radon	148 Bq/m ³	Continuous radon monitor	Alpha track radon detector			90 days	

*: Indoor air quality testing methods and standards in Korea (Ministry of Environment Notice No. 2017-11).

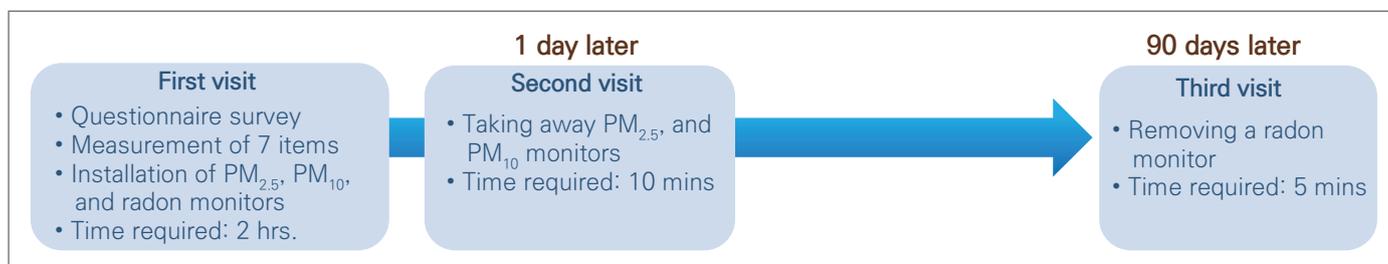


Figure 1. Indoor air quality (IAQ) survey process

Table 2. Summary of indoor air quality (IAQ) monitoring results

Measurement items	GM (GSD)	Min—Max	Q1	Median	Q3	Reference ^a	Evaluation outcome		
							Good ^b	Moderate ^c	In Excess ^d
PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15.2 (1.8)	3.1—48.4	9.6	16.0	22.6	<75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100%	0%	0%
PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8.2 (2.0)	1.1—32.5	5.9	9.9	12.4	<35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	97%	3%	0%
Formaldehyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	22.9 (1.8)	7.9—71.5	13.9	20.5	36.6	<80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	95%	5%	0%
Total Volatile Organic Compounds ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	188.7 (2.9)	16.0—2,344.9	85.6	223.6	399.4	<400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	68%	7%	25%
Total Suspended Bacteria (CFU/ m^3)	56 (2.5)	9.0—365	32	47	105	<800 CFU/ m^3	100%	0%	0%
Fungi (CFU/ m^3)	129 (3.0)	11—1,737	65	119	211	<500 CFU/ m^3	83%	3%	13%
Carbon Monoxide (ppm)	0.9 (1.2)	0.5—1.4	0.8	0.9	1.1	<10 ppm	100%	0%	0%
Carbon Dioxide (ppm)	889 (1.4)	384—2465	699	880	1,064	<1000 ppm	40%	25%	35%
Nitrogen Dioxide (ppm)	0.014 (1.5)	0.005—0.03	0.01	0.013	0.018	<0.05 ppm	100%	0%	0%
Radon (Bq/ m^3) ^e	77 (1.7)	27—235	53	70	105	<148 Bq/ m^3	80%	9%	11%

^a Indoor air quality maintenance and recommendation criteria by the Indoor Air Quality Control Act; ^b Measured value of less than 80% of the reference value; ^c Measured value 80% to 100% of the reference value; ^d Measured value exceeds the reference value; ^e 56 out of 60 measured households (3 lost, 1 rejected) analysis results.

Table 3. Categories of information used in the indoor air quality (IAQ) questionnaire

Category	No.	Questionnaire detail/content
Housing related factors	13	When the residents moved in, whether the house was repaired in the last 6 months, whether new furniture/appliances were bought in the last 6 months, whether there is condensation in the winter <u>Items filled out by surveyor:</u> Number of floors in the home, area (m ²) of the home, age of the building, flooring, wall material, living room and kitchen separated by door, water leakage, mold occurrence
Resident behavior related factors	9	Pets (types), whether dry-cleaning was brought in the last week, heating (types and fuels), air freshener usage, cooking (frequency, fuel, time per event, ventilation during cooking), exhaust fan in bathrooms, pesticide usage, humidifier usage (frequency, cleaning), air conditioner usage (cleaning)
Indoor air quality management factors	4	Cleaning (frequency, time per event, how the space is cleaned), how high humidity is managed, ventilation (frequency, time per event, method), air purifier usage
Outdoor factors	1	<u>Items filled out by the surveyor:</u> Classification of the area of use located in the home
Lifestyle	1	How many hours a day are spent at home during the weekdays and weekends
Air quality awareness	2	Satisfaction with indoor and outdoor air quality